

PVA 繊維や鋼繊維を混入したモルタルを用いた電気抵抗率試験の適用性検討

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○小田部 貴憲, 櫻庭 浩樹, 古賀 裕久
一般社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 佐々木 亘

1. はじめに

著者らは、塩化物イオン浸透抵抗性が高いコンクリートを迅速に評価する手法として電気抵抗率試験の適用を検討してきた¹⁾。電気抵抗率試験は、結合材や細骨材の種類が異なる場合など、多様な配合条件においても塩化物イオン浸透抵抗性を評価できることを確認している。しかし、短繊維を混入したコンクリートに適用できるかは必ずしも明確にされていない。

短繊維は用途に応じて様々な材質や形状のものが用いられるが、コンクリートと導電性が異なる短繊維を混入した場合、電気抵抗率に影響を与え、無混入の場合と同様に塩化物イオン浸透抵抗性を評価できない可能性がある。そこで、本稿では、PVA 繊維と鋼繊維を用いて供試体を作製し、電気抵抗率に及ぼす影響について検討した。

2. 実験方法

実験に用いたモルタルの配合、フレッシュ性状および圧縮強度を表-1 に示す。短繊維は、PVA 繊維（以下、VF）と鋼繊維（以下、SF）を使用し、形状の違いによる影響を取り除くため、繊維径（VF：0.66mm、SF：0.62mm）と繊維長（各 0.30mm）は近いものを選定した。短繊維の電気抵抗率の区分は、SF は導体（ $10^{-7}\Omega\text{m}$ ）、VF は絶縁体（ $10^8\Omega\text{m}$ 程度）である。

短繊維の混入率は、配合計算上 1m^3 に含めない外割とし、供試体体積の 0、0.5、1.0、1.5%の短繊維を添加した。基本配合は、早強ポルトランドセメントを用いて W/B36%とした H、高炉スラグ微粉末 6000 で 50%置換して W/B33%とした B である。供試体の記号は、H-VF-0.5 のように、「基本配合名」-「短繊維種類」-「短繊維混入率」とした。フローは 200mm 程度、空気量は 2~4%となるように化学混和剤を用いてフレッシュ性状を調整した。供試体の形状は、圧縮強度試験用を $\phi 50\times 100\text{mm}$ 、電気抵抗率試験用または浸せき試験用を $\phi 100\times 200\text{mm}$ とした。

作製した供試体を用いて、圧縮強度試験、電気抵抗率試験、および浸せき試験を行った。圧縮強度試験は、材齢 91 日まで水中養生した供試体を用いて行った。電気抵抗率試験は、JSCE-G 581-2018 四電極法 B 法に準拠し（試験装置：電極間隔 50mm、周波数 40Hz）、測定の前まで 20℃で水中養生した供試体を各配合 3 体ずつ用いて行った。測定材齢は 1、3、7、28、91 日とした。電気抵抗率は、各供試体の側面を 4 方向から測定し、それらの平均と標準偏差（3 体×4 方向=12 データ）を求めた。浸せき試験は、電気抵抗率試験後の供試体を $\phi 100\times 100\text{mm}$ に成形して浸せき面以外をエポキシ樹脂でシールした供試体を用い、10%NaCl 水溶液に 8 週間浸せきして行った。浸せき後に割裂して硝酸銀溶液を噴霧し、9 等分点の塩化物イオン浸透深さの平均を測定値とした。

表-1 モルタルの配合、フレッシュ性状および圧縮強度

記号	W/B [%]	単位[kg/m^3]			化学混和剤 [B×%]		短繊維		フレッシュ性状		圧縮強度 $\sigma_{91}[\text{N}/\text{mm}^2]$
		W	B	S	A1	A2	種類	混入率[%]	フロー[mm]	空気量[%]	
H	36	718	1131		0.550	0.010	なし	0	214	2.6	98.5
H-VF-0.5					0.550	0.100	PVA繊維 (VF)	0.5	217	2.9	89.2
H-VF-1.0					0.600	0.150		1.0	215	2.8	95.2
H-VF-1.5					0.650	0.200		1.5	229	2.1	96.1
H-SF-0.5					0.550	0.100	鋼繊維 (SF)	0.5	220	2.3	97.0
H-SF-1.0					0.600	0.200		1.0	218	2.5	96.9
H-SF-1.5					0.650	0.300		1.5	229	2.1	96.5
B	33	784	1053		0.450	0.100	なし	0	185	4.0	97.8
B-VF-0.5					0.450	0.100	PVA繊維 (VF)	0.5	191	3.0	102.9
B-VF-1.0					0.500	0.150		1.0	202	3.4	103.0
B-VF-1.5					0.550	0.200		1.5	223	2.5	104.9
B-SF-0.5					0.450	0.100	鋼繊維 (SF)	0.5	197	3.3	100.0
B-SF-1.0					0.500	0.200		1.0	222	3.0	105.5
B-SF-1.5					0.550	0.300		1.5	220	3.0	104.5

※W: 上水道水, H: 早強ポルトランドセメント(密度=3.14g/cm³, 比表面積=4520cm²/g), B: 高炉スラグ微粉末6000(密度=2.91g/cm³, 比表面積=5800cm²/g), S: 細骨材(密度=2.58g/cm³, 吸水率=1.78%), 化学混和剤は, A1: 高性能減水剤, A2: 消泡剤を使用
※短繊維は外割で混入し, PVA繊維(密度1.30g/cm³, 繊維径0.66mm, 繊維長30mm)と鋼繊維(密度7.85g/cm³, 繊維径0.62mm, 繊維長30mm, 両端フック)を使用
※練混ぜにはボール容量30L(実効容量6~18L)の縦型1軸ミキサーを使用し, 短繊維を除いたモルタルでは, 細骨材と結合材の練りを120秒行なった後に水を投入してさらに180秒練り混ぜた。短繊維を混入する場合には, モルタル練りに短繊維を全量投入し, さらに60秒練混ぜを行なった。

キーワード 短繊維, PVA 繊維, 鋼繊維, 電気抵抗率, 塩化物イオン浸透抵抗性, 迅速評価手法
連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター TEL029-879-6761

3. 実験結果

3.1 圧縮強度と塩化物イオン浸透深さ

材齢 91 日の圧縮強度試験の結果を表-1 に示す。H シリーズ、B シリーズそれぞれの圧縮強度は同程度であり、本実験の範囲では、短繊維の種類や混入率による違いは小さかった。図-1 に塩水浸せき 8 週間後の塩化物イオン浸透深さを示す。圧縮強度試験と同様に、短繊維無混入の場合と比較して顕著な違いはなかった。

3.2 電気抵抗率

図-2 に材齢 91 日の電気抵抗率試験の結果を示す。両シリーズともに、VF の場合は影響が小さい。しかし、SF の場合は、短繊維混入率の増加にともない電気抵抗率が低下する傾向にあった。また、SF は、測定位置によって測定値のばらつきがあり、測定位置付近の SF の分散状況の影響を受けていると推察される。一方、VF は測定位置による測定値のばらつきはほとんど無かった。

3.3 無混入の供試体に対する電気抵抗率の比

図-3 および図-4 に、短繊維を混入した供試体の電気抵抗率と同一の条件の短繊維無混入とした供試体の電気抵抗率の比（以下、無混入比）を示す。

(1) 短繊維の種類による違い

SF を混入すると電気抵抗率に及ぼす影響は大きく、図-2 に示すように、SF は、混入率に応じて電気抵抗率が顕著に低下した。ただし、図-3 および図-4 に示すように、SF は、短繊維の混入率に応じた無混入比が結合材の種類にかかわらず類似しており、混入率に応じた影響度合を考慮することで、塩化物イオン浸透抵抗性を評価できる可能性がある。一方、VF の場合は、特に若材齢の時を除き無混入比が 1 に近く、無混入の場合と同様に塩化物イオン浸透抵抗性を評価できる可能性がある。

(2) 材齢経過が与える影響

本実験では、材齢経過による変化に規則性が認められた。図-3 および図-4 に示すように、VF は、材齢が進むに連れて無混入比が上昇し、SF は下降した。これは、短繊維の種類とセメント硬化体の細孔内水分状態の経時変化が関係しているものと推察される。

導電性の低い VF が存在する部分は電流が局所的に屈曲し、短繊維無混入と比べて電気抵抗率が大きくなると想定していたが、若材齢時は必ずしもそうではなかった。短繊維を混入することによって短繊維とマトリクス界面には遷移帯が形成される可能性があり、SF の混入によって塩化物イオンの浸透性に対する抵抗性が低下する可能性が確認されている²⁾。本実験では、短繊維とマトリクス界面に未水和水が多く存在する場合、短繊維の周囲が電流の通り道となって電気抵抗率が小さくなり、その後、材齢経過とともに未水和水が減少することによって電気抵抗率が大きくなったと推察される。一方、SF は、VF とは異なる傾向を示しており、材齢経過により無混入比が低下した。短繊維の種類によりマトリクス界面の遷移帯の形成状態が異なるなどの可能性が考えられるが、本実験の範囲では明確でなかった。

5. まとめ

PVA 繊維および鋼繊維混入による影響は、圧縮強度試験および浸せき試験では顕著でなかった。電気抵抗率試験では、短繊維の種類、混入率、および材齢経過により影響があるが、PVA 繊維混入の場合は、無混入の場合と同様に、電気抵抗率で塩化物イオン浸透抵抗性を評価できる可能性を示した。一方、鋼繊維混入の場合は、経時変化の要因は明確ではないが、混入率に応じた影響度合を考慮することで評価できる可能性がある。

なお、本研究は土木研究所とプレストレスト・コンクリート建設業協会の共同研究により実施されたものである。

参考文献

- 1) 中村英佑 他：高炉スラグやフライアッシュを用いたコンクリートの遮塩性能の迅速評価手法、コンクリート工学年次論文集 Vol.40, No.2, 2018
- 2) 佐々木直 他：早強ポルトランドセメントを用いたモルタルの物質透過性に与える短繊維および水セメント比の影響、コンクリート工学年次論文集 Vol.40, No.1, 2018

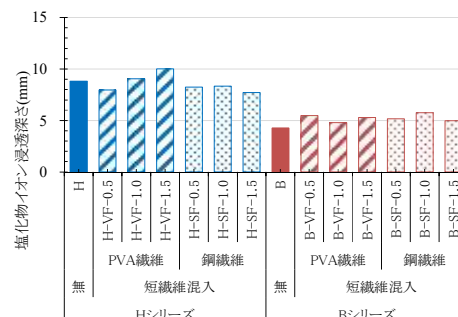


図-1 塩化物イオン浸透深さ（浸せき 8 週間）

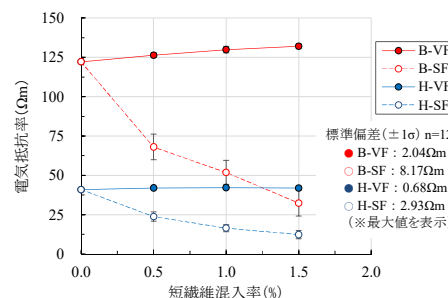


図-2 材齢 91 日の電気抵抗率（H, B）

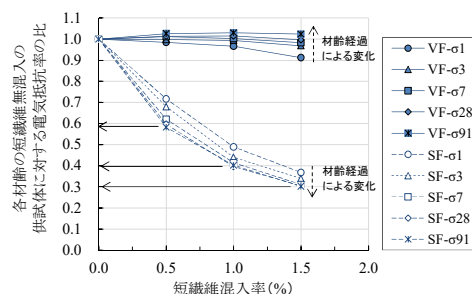


図-3 無混入に対する電気抵抗率の比（H）

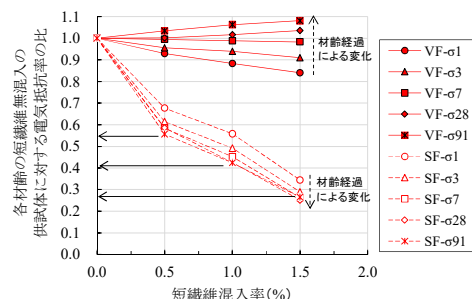


図-4 無混入に対する電気抵抗率の比（B）